

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ АЛГОРИТМОВ В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы повышения точности определения времен прохождения локационных сигналов в задачах измерений при помощи ультразвука. Приведены основные проблемы использования существующих аналоговых способов. Представлены наиболее используемые алгоритмы измерения времен прохождения сигналов на основе их цифровой обработки. Проанализированы точностные характеристики методов в зависимости от соотношения сигнал/шум. Рассмотрены: метод компаратора, метод аппроксимации полиномом и экспонентой, а также методы на основе отработки в фазовой области. Даны рекомендации по выбору цифровых алгоритмов измерений, пригодных для их реализации в приложениях ультразвуковых локационных измерений.

Ключевые слова: ультразвук, алгоритм измерения, цифровая обработка, локационные сигналы, численное моделирование, аппроксимация, точность.

Abstract

The article deals with the problem of improving the accuracy of determining the transit time of ultrasonic signals. It is reported about the main problems of existing analog methods. In article discussed the mostly used digital methods of signal processing. The analysis of the accuracy of methods depended on the signal to noise ratio are investigated. It's described in short of method of comparator, approximation methods and methods of processing in phase domain are given. In conclusion recommendations for choosing of digital methods for application of ultrasonic measurement systems are given.

Keywords: ultrasonic, measurement algorithm, digital processing, location signals, numerical simulation, approximation, accuracy/

Многие из приложений измерений физических величин при помощи ультразвука могут быть сведены к задачам ультразвуковой локации. К таковым могут быть причислены, например: ультразвуковая дальнометрия; гидролокация; расходометрия; измерение уровня жидкости; толщины изделий; неразрушающий контроль (дефектоскопия) и диагностика [1]. Во всех этих и многих других приложениях ультразвуковой локации одним из ключевых моментов является точное измерение времени прихода сигнала, прошедшего через среду при помощи дешевых устройств детектирования. В настоящее время наиболее используемым является аналоговый метод определения наличия полезного сигнала на входе приемника по пересечению им определенного порога (метод «компаратора», метод «триггера») [2].

Началом полезного сигнала на входе приемного устройства при использовании метода компаратора считается напряжение пересечения порога, которое заведомо отличается от нулевого, что является причиной наличия постоянной ошибки. Большая постоянная составляющая погрешности (до 3 %) является основным недостатком метода компаратора. Ввиду этого требуется тщательная градуировка показаний в зависимости от внешних условий [3].

В случае, когда принимаемый сигнал значительно искажен, его обнаружение становится затруднительным. Общие ошибки при детектировании такого сигнала можно разделить на 2 вида: ложное срабатывание компаратора или неточность в определении времени начала сигнала. Вторая ошибка более опасна, так как не может быть отклонена процедурами самоконтроля [4]. В литературе, например [2], предлагается не использовать компаратор для регистрации сигнала, так как часть колебаний приходящего импульса, меньше уровня срабатывания, пропускаются, и время срабатывания не совпадает с началом импульса, т. е. чем дальше отражающая поверхность и чем меньше амплитуда излучаемого импульса, тем больше периодов компаратора пропускается. Это приводит к тому, что погрешность метода компаратора зависит от выбранного значения порога и ее сложно учесть [2].

Современный уровень развития цифровой техники позволяет разрабатывать дешевые высокоскоростные цифровые устройства на основе достаточно производительных микропроцессоров. Это открывает новые возможности для создания устройств массового потребления, задача обработки сигнала в которых переносится из аналоговой части в цифровую. При таком подходе открываются различные преимущества, связанные с более простой реализацией математических алгоритмов, требующих больших вычислительных мощностей, соответствующее повышение точности измерений и их надежности [5].

Многими авторами предлагаются различные алгоритмы цифровой обработки сигналов, наиболее популярными из которых являются методы на основе аппроксимации огибающей принятого сигнала. При этом детектирование полезной составляющей сигнала определяется по пересечению ей определенного порога, превышающего значение сигнал/шум, однако, в отличие от метода компаратора, последующая цифровая обработка позволяет определить позицию начала сигнала с малой постоянной составляющей погрешности. Таким образом, при использовании данных методов не требуется сложной градуировки устройства. И влияние постоянной составляющей ошибки измерений, а также внешних факторов, которые ее вызывают, незначительно. Это является актуальным для массового производства устройств измерений при помощи ультразвука.

Среди цифровых способов определения времени прихода локационных ультразвуковых сигналов наибольшее распространение получили методы аппроксимации огибающей сигнала полиномом или экспонентой, а также методы на основе определения положения сигнала по анализу зависимости его фаз от времени. Авторами данной работы были проанализированы те и другие способы для модели ультразвукового локационного сигнала, прошедшего через однородную среду (рис. 1). В соответствии с этим принимаемый сигнал складывался в детекторе с белым шумом. Предметом анализа являлась точность методов обработки в зависимости от отношения сигнал/шум [6]. Зависимости приведены на рис. 2.

В случае аппроксимационных способов описания кривой коэффициенты полинома и экспоненты находились следующим образом. Как указывалось ранее, детектирование полезного сигнала осуществлялось по пересечению им некоторого порогового напряжения на детекторе, которое не менялось от величины отношения сигнал/шум. После этого определя-

лись позиции пиков в принятом сигнале. По ним методом наименьших квадратов вычислялись искомые коэффициенты. Для полученной кривой находилось время прихода сигнала, как пересечение его нулевого напряжения. В случае использования экспоненциальной аппроксимации, как известно, не может быть пересечения оси абсцисс, поэтому началом сигнала являлась позиция, в которой значение кривой превышает определенный порог. Отличием такого порога является то, что его величина может быть выбрана меньше уровня шумов [2].

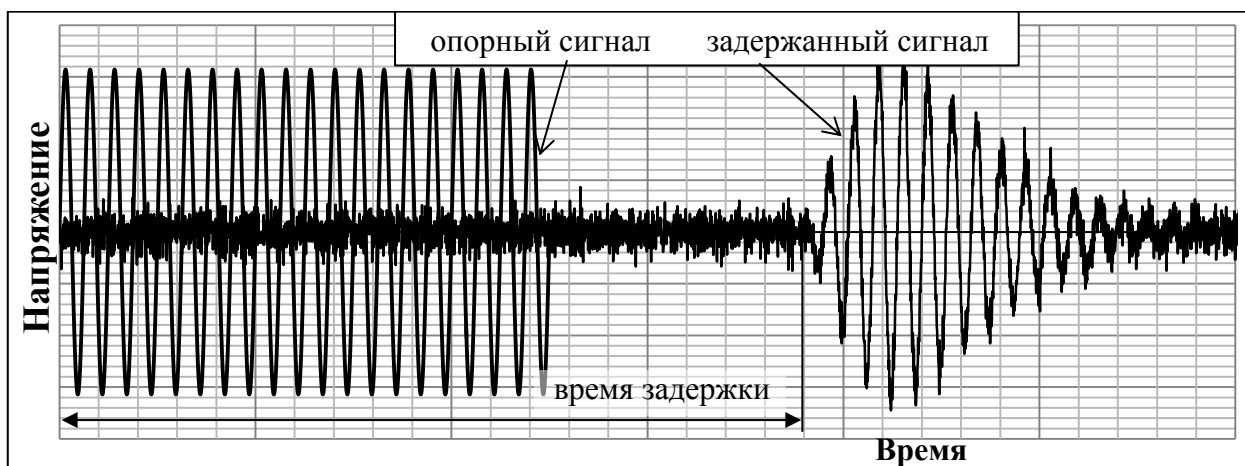


Рис. 1. Вид опорного и задержанного ультразвуковых локационных сигналов

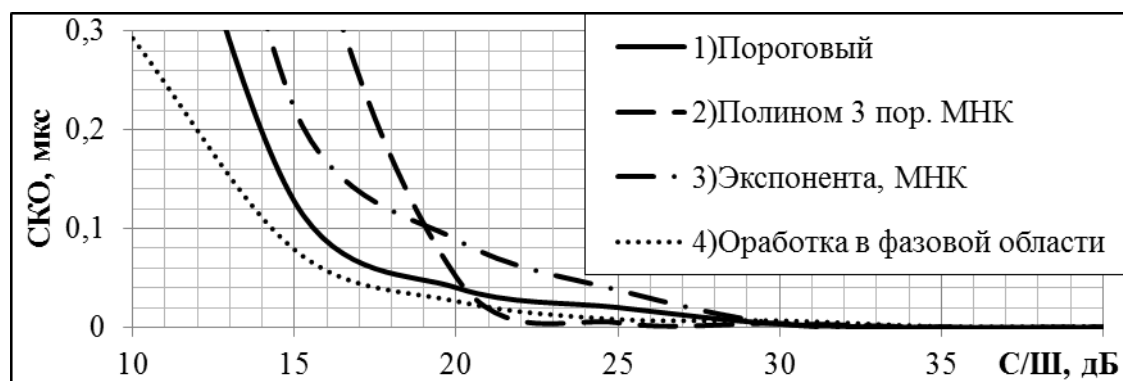


Рис. 2. Сравнение точности порогового метода детектирования сигнала с цифровыми в зависимости от соотношения сигнал/шум: 1 – пороговый метод; 2 – аппроксимация при помощи полинома третьей степени, полученного методом наименьших квадратов; 3 – экспоненциальная аппроксимация, полученная методом наименьших квадратов; 4 – поиск позиции начала сигнала с использованием зависимости фазы от времени [6]

При использовании методов на основе преобразования Гильберта, как и в предыдущих случаях, выбиралось некоторое пороговое напряжение детектирования сигнала, причем для последующего анализа использовалась только выборка со значениями напряжения выше этого уровня. Для полученной выборки при помощи цифрового преобразования Гильберта определялась форма огибающей и зависимость фазы аналитического сигнала от времени. Далее находился максимум огибающей и соответствующий ей пик полученного колебания. Значение выбранного пика может быть уточнено в фазовой области. Это возможно по той

причине, что фаза гармонического колебания на каждом участке от $-\pi$ до π линейна. Соответственно пересечение такой функцией нуля может быть вычислено при помощи линейной аппроксимации зависимости с высокой точностью. При использовании данного метода предполагается, что значение наибольшего пика принятого сигнала всегда имеет один и тот же номер среди всех пиков выборки. Поэтому можно определить позицию первого пика полезного сигнала даже в том случае, если его напряжение ниже уровня шумов, и, таким образом, может быть получено время начала прихода полезной составляющей радиоимпульса [7].

Из рис. 2 видно, что в области высоких соотношений сигнал/шум все методы имеют приблизительно равную точность. Однако при увеличении уровня шумов более точными являются методы поиска позиции сигнала в фазовой области. Сравнимой точностью обладают методы на основе аппроксимации полиномом. При этом допустимым условием использования данных методов является наличие отношения сигнала к шуму выше 25 дБ. Также положительный эффект от использования цифровой обработки заключается в том, что детектирование наличия полезной их составляющей на входе может быть проведено по пересечению ими порога с достаточно высоким значением. Это позволяет снизить вероятность ошибки типа ложного срабатывания. Если величина сигнал/шум достаточно высока, то и вероятность ошибки типа пропуска сигнала будет достаточно низкой. При использовании цифровой обработки, как отмечают многие авторы (например [2]), частота дискретизации может быть выбрана от 4 и выше, по сравнению с несущей частотой сигнала.

Современный уровень микросхемотехники при дешевой стоимости элементной базы позволяет обеспечить высокую скорость выборки по отношению к частотам, на которых применяются ультразвуковые локационные сигналы (до 10 МГц). По этой причине предложенные подходы являются актуальными при разработке новых устройств, использующих данный принцип измерения. Среди предложенных подходов наибольшей точностью в условиях высокого уровня шумов обладают способы определения времен пролета на основе фазовой области. Аппроксимационные методы обладают более низкой помехоустойчивостью, однако они проще в реализации, что делает их также актуальными во многих приложениях. При этом, как уже отмечалось выше, цифровая обработка сигналов позволяет снизить постоянную составляющую погрешность и соответственно упростить условия градуировки приборов и влияние внешних условий на их показания.

Список использованных источников

1. Радж Б., Радженждар В., Паланичами П. Применения ультразвук. М.: Техносфера, 2006. – 576 с.
2. Солдатов А. И., Шестаков С. А., Пономарев С. В. Применение методов огибающих второго и третьего порядка для определения временного положения эхо-импульса // Томский политехнический университет, 2010.
3. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества вещества. Кн. 2. – М.: Политехника, 2004. – 411 с.
4. Фалькович С. Е., Косотенко П. Ю. Основы статистической теории радиотехнических систем: учебное пособие. Харьков: ХАИ, 2005. – 363 с.

5. Жестков А. В. Применение DSP-технологий для измерения расхода жидких и газообразных сред в кориолисовых и ультразвуковых расходомерах «Элметро» // Элметро. Средства автоматизации. Метрология. 2013/3. Челябинск: Элметро, 2013. – С. 102–106.
6. Калмыков А. А., Ронкин М. В. Сравнение цифровых методов определения времени прихода локационных сигналов // Радиовысотометрия-2013. Каменск-Уральский, 2013. С. 413–418.
7. Kupnik M., Krasser E, and Groschl M. Absolute transit time detection for ultrasonic gas flowmeters based on time and phase domain characteristics // IEEE Ultrasonic Symposium. 2007. Pp. 142–145.

УДК 669-7

С. А. Савчук, А. С. Истомин, Н. А. Спирин

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ХОДА ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ И ВЫЧИСЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА

Аннотация

В данной статье мы рассмотрим разработку программного обеспечения для вычисления вероятности возникновения отклонения доменной плавки от нормального режима, а также определения типа возможного отклонения. Данная программа является уникальной разработкой и предназначена для оперативного предоставления мастерам доменной плавки и другому производственному персоналу полного объема информации о ходе процесса плавки. Использование программы позволит упростить управление технологическим процессом, повысить эффективность производства, уменьшить вероятность простоев оборудования и аварий.

Разработанный программный продукт позволит выявлять наличие отклонений от нормального хода плавки и определять его тип по данным о работающей печи. Пользователь программы имеет возможность в любой момент просмотреть графическую информацию по каждому из параметров используемых в расчете отклонений, а также осуществлять диагностику хода печи в режиме реального времени.

Ключевые слова: программное обеспечение, программный продукт, вероятность отклонения, нормальный режим, графическая информация, параметры, доменная печь.

Abstract

In this article we look at development of software to calculate probability of blast furnace deviation from normal conditions and also determining the type of possible deviation. This program is a unique development and is designed to furnace foreman's and other manufacturing personnel for the timely provision of complete information during the melting operation. Use of the program will